云 南 植 物 研 究 2009, 31 (6): 537～542
Acta Botanica Yunnanica DOI: 10.3724 SP.J.1143.2009.09153

膏桐种子形态、粗脂肪含量与环境因子关系

罗 圆[1], 欧晓昆[1], 苏文华[1], 杨文忠[2]
(1 云南大学生态学与地植物学研究所, 云南 昆明 650091; 2 云南省林业科学院, 云南 昆明 650204)

摘要: 对云南省两个不同地区膏桐 (*Jatropha curcas*) 种子形态特征, 粗脂肪含量与环境因子关系开展研究, 结果表明: 湿热环境的景洪较干热环境的元谋膏桐种子成熟散布期提前, 形态特征也优于元谋膏桐种子 ($P < 0.01$); 土壤有机质是影响膏桐种子粗脂肪积累最重要的因子, 对膏桐种子粗脂肪积累起显著正效应; 干旱胁迫也是影响膏桐种子粗脂肪积累的一个重要的限制因子; 景洪膏桐种子粗脂肪含量、含水量较元谋膏桐种子更高, 但粗脂肪含量与含水量比率较低 ($P < 0.01$); 具有较高粗脂肪含量的膏桐种子与其含水量的比率可能是植物对干旱胁迫适应的一种机制, 其对物种的适应有着重要的生态学意义。

关键词: 膏桐; 种子生物学; 生物柴油; 粗脂肪; 生态适应
中图分类号: Q 948.11 **文献标识码**: A **文章编号**: 0253-2700 (2009) 06-537-06

The Relationship of Morphological Characters, Crude Fat of *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae) Seed with Environmental Factors

LUO Yuan[1], OU Xiao-Kun[1 **], SU Wen-Hua[1], YANG Wen-Zhong[2]
(1 *Institute of Ecology and Geobotany*, *Yunnan University*, Kunming 650091, China;
2 *Yunnan Academy of Forestry*, Kunming 650204, China)

Abstract: This paper focused on the relationship of morphological characters, crude fat content of *Jatropha curcas* seed with environmental factors from two areas in Yunnan. The research demonstrated that seed maturity and dispersal in humid and hot Jinghong area were shorter than that in dry and hot Yuanmou area, and the criterion of seed morphological characters from Jinghong was also better than that from Yuanmou ($P < 0.01$). Soil organic matter content was the most important soil factor which made positive effects to seed crude fat accumulation while drought stress was one of the most important climatic factors restricting the seed crude fat accumulation. Seed from Jinghong contained higher crude fat content, moisture content and lower ratio of crude fat content and moisture content ($P < 0.01$) than seed from Yuanmou. High ratio of crude fat content and moisture content in the seed from dry area could be one of the adaptive mechanism of *J. curcas* to drought stress which made an important ecological significance to species adaption.

Key words: *Jatropha curcas*; Seed biology; Biodiesel; Crude fat; Ecological adaptability

膏桐 (*Jatropha curcas*) 属大戟科麻疯树属多年生耐旱灌木或小乔木, 其种子粗脂肪含量较高, 可制取生物柴油 (Heller, 1996), 作为常规能源替代品或补充物缓解能源危机具有重要现实意义。我国结合自身国情, 特别在云南、四川等西南省区开展膏桐生物柴油的研究和开发工作。国内外对膏桐生物学研究主要集中在其植株繁殖 (Kumar and Sharma, 2005; Timir 等, 2007)、生理

基金项目: 云南省基础研究重点项目 (2009CC003), 国家重点基础研究发展计划 (2003CB415102) 和云南省财政支持资助
通讯作者: Author for correspondence; E-mail: xkou@ynu.edu.cn
收稿日期: 2009-08-19, 2009-11-05 接受发表
作者简介: 罗圆 (1983-) 男, 硕士, 主要从事植被生态学和生理生态学研究。E-mail: roddick_821@hotmail.com

生态学 (Sunil 等, 2008; Garnayak 等, 2008)、污染生态学 (Bradshaw and Chadwick, 1980; Kumar 等, 2008)、分子生物学 (Luo 等, 2006; Ranade 等, 2007)、种间杂交 (Sujatha and Prabakaran, 2003) 等方面。膏桐研究在国内也是热点 (罗圆等, 2008), 近年来对膏桐生长适宜性 (吴涛等, 2008; 刘朔等, 2009) 和种子生物学 (冯峻等, 2008; 罗建勋等, 2009) 等方面也开展了一些研究。

种子大小常常被认为是相对稳定的 (Silvemown, 1981), 然而许多研究表明, 在种群内、种群间, 甚至个体间, 种子大小有很大差异 (曹兵和高捍东, 2002; 柯文山等, 2000)。种子大小表征了种子内营养物质的多少 (Raquel 等, 1997), 同时也反映了植物对环境适应的结果 (Hone and Benton, 2005)。膏桐种子化学成分中的粗脂肪作为制取生物柴油的主要原料, 其含量的高低直接关系到生物柴油的品质和产量 (Berchmans, 2008)。不同气候类型地区膏桐种子粗脂肪含量差异十分显著, 仅在云南部分地区膏桐种仁粗脂肪含量变幅就高达 32.12% (袁理春等, 2007)。因此, 对膏桐种子形态, 粗脂肪含量与环境因子关系开展深入、全面的研究很有必要且十分迫切。本文对云南省两个不同气候类型地区元谋、景洪膏桐种子的形态、粗脂肪含量开展研究, 探讨膏桐种子粗脂肪含量与环境因子的耦合关系, 推论膏桐种子粗脂肪含量与含水量配比差异及其可能的生态学意义, 为膏桐引种繁殖、生长适宜性研究提供科学依据。

1 研究方法

1.1 研究区概况

元谋干热河谷海拔约 1 100 m, 属典型的金沙江干热河谷区, 气候炎热, 干、湿季分明, 日照充足, 年均日照时数 2 593 h, 年均太阳辐射量 135.8 kJ cm^2; 极端最高气温 40.7℃, 极端最低气温 -1.3℃, 年均气温 21.5℃; 年均降雨量 642.2 mm, 蒸发量 3 094.1 mm, 年均相对湿度 53%; 河谷区土壤以燥红土为主; 自然植被以草丛为主, 杂以灌木, 稀少乔木, 为半自然稀树草原 (金振洲和欧晓昆, 2000)。西双版纳景洪海拔约 545 m, 属北热带湿润季风气候, 长夏无冬, 干、湿季分明, 年均日照时数 2 136 h, 年均太阳辐射量 130.7 kJ cm^2; 极端最高气温 41.1℃, 极端最低气温 1.9℃, 年均气温 22.4℃; 雨量充沛, 年均降雨量 1 113.7 mm, 年均相对湿度 82%～85%间; 土壤为砖红壤; 植物种类丰富, 为热带雨林和南亚热带季风常绿阔叶林分布区 (Cao 等, 2006)。

1.2 研究方法

1.2.1 样地选择与土壤取样　　在元谋、景洪分别选取膏桐人工样地各 3 块。元谋膏桐样地海拔约 1 306 m, 土壤为燥红土, 膏桐树龄 7a 左右, 平均每株挂果 6 kg。景洪样地海拔 540 m, 土壤为砖红壤, 膏桐树龄 8a 左右, 平均每株挂果 8 kg。两地样地内无乔、灌木, 仅有少量草本, 膏桐在无人工施肥和灌溉条件下自然生长。每个样地按 S 型土壤布点取样法, 取地表下 10 cm 处土样 5 份, 混合后为代表性土样进行土壤化学性质分析。选取 pH、有机质、全氮、磷、钾, 速效氮、磷、钾共 8 个指标, 由云南省农业环境资源研究所分析检测中心完成土样分析。

1.2.2 实验材料　　对种子成熟散布期做记录, 种子成熟以果实颜色变黄或深棕色为准, 每天统计果实成熟数, 记录从 5 月持续到 8 月。所用种子于 2008 年种子成熟散布高峰期分别采摘于景洪、元谋样地。清洗种子并晾干表面水分后迅速进行种子形态特征、含水量测定。对种子的长、宽、厚、鲜重分别进行测量和称量, 每个样地种子随机选取 300 粒。种子大小用电子游标卡尺测量, 结果精确到 0.01 mm; 种子鲜重用电子天平称量, 结果精确到 0.001 g。种子含水量以种子干重为基础进行计算。

1.2.3 种子粗脂肪含量测定　　种子去壳后在 105℃烘箱中烘干 1 h 至恒重称重。取出后趁热研磨, 称取 1 g 左右装入滤纸袋用石油醚在索氏提取器中连续抽提 8 h, 抽提完后在 105℃烘箱中烘干 1 h, 冷却至恒重称重, 计算种子粗脂肪含量 (Maxwell, 1985), 每个样地种子 5 个重复。种子粗脂肪含量以种子烘干后物质为基础进行计算, 公式为: 种子粗脂肪含量(Crude fat content) (%) = [(种子和滤纸袋抽提前质量 - 种子和滤纸袋抽提后质量) 种子抽提质量]×100%。

1.2.4 气候数据　　研究所用气象数据收自元谋站 (25°44′N, 101°52′E, 海拔 1 120.2 m)、景洪站 (22°00′N, 100°47′E, 582.0 m) 2 个气象站 1971～2000 年的气象观测资料。选取年均气温 (℃)、年均降雨量 (mm)、年均蒸发量 (mm)、年均相对湿度 (%)、年均日照时数 (h) 共 5 项因子。

1.3 数据处理

数据分析采用 SPSS13.0 (SPSS Inc ., Chicago, Illinois, USA) 统计软件完成, 数据间用 t 检验进行差异显著性分析。回归分析的数据, 只有通过 F 检验否认回归系数为零的假设才用于因子回归分析。

2 结果与分析

2.1 两地种子的成熟散布期、形态特征

膏桐种子成熟散布期主要集中在每年夏季多

雨期。景洪膏桐种子成熟散布期从 6 月下旬开始一直持续到 7 月底，而元谋膏桐种子成熟散布期从 7 月底开始持续到 8 月。

从表 1 可以看出：景洪膏桐种子种长、种宽、种厚及鲜重的最大值、最小值和平均值均大于元谋膏桐种子。方差分析表明：两地膏桐种子除种宽不存在显著性差异外（$P > 0.05$），种长、种厚及鲜重差异极其显著（$P < 0.01$）。

2.2　两地种子粗脂肪含量与环境因子关系

2.2.1　土壤化学性质　　土壤化学性质分析表明（表 2）：景洪样地土壤 pH 值呈弱酸性，元谋样地土壤 pH 值呈弱碱性。两地样地内部土壤营养元素指标变幅不大。两地样地间土壤有机质、速效 K 差异较大。总体情况看景洪膏桐样地土壤肥力较高，各指标均优于元谋膏桐样地。

2.2.2　种子粗脂肪含量、含水量以及粗脂肪含量与含水量比率　　方差分析表明（表 3）：两地膏桐种子粗脂肪含量、含水量及粗脂肪含量与含水量比率差异均极其显著（$P < 0.01$）。景洪膏桐种子粗脂肪含量、含水量均高于元谋膏桐种子，但粗脂肪含量与含水量比率却低于元谋膏桐种子。

表 1　两地膏桐种子形态特征

Table 1　Seed morphological characters of *Jatropha curcas*

样地 Site	种长 (mm) Length of the seed		种宽 (mm) Width of the seed		种厚 (mm) Thickness of the seed		鲜重 (g) Fresh weight	
	范围 Range	平均 Mean	范围 Range	平均 Mean	范围 Range	平均 Mean	范围 Range	平均 Mean
景洪 Jinghong	16.64-20.46	18.65a	10.03-11.84	11.06a	7.89-9.98	9.04a	0.573-1.053	0.849a
元谋 Yuanmou	15.33-18.78	17.11b	9.16-10.86	10.89a	7.01-9.95	8.31b	0.453-0.851	0.667b

字母相同表示不存在显著差异（$P > 0.05$），字母不同表示存在极显著差异（$P < 0.01$）

The same letter means no notable difference $P > 0.05$, and the different letters mean significant difference $P < 0.01$

表 2　两地膏桐生境土壤化学性质

Table 2　Inhabitant soil chemical characters of *Jatropha curcas*

样地 Site		pH	OM ($g\ kg^{-1}$)	TN ($g\ kg^{-1}$)	TP ($g\ kg^{-1}$)	TK ($g\ kg^{-1}$)	AN ($mg\ kg^{-1}$)	AP ($mg\ kg^{-1}$)	AK ($mg\ kg^{-1}$)
景洪 Jinghong	1	6.24	52.60	1.03	0.67	14.87	56.87	16.78	156.79
	2	6.59	52.30	0.98	0.64	14.45	55.93	15.59	155.89
	3	6.78	51.10	0.96	0.63	15.36	54.93	13.23	144.87
元谋 Yuanmou	1	7.26	19.80	0.80	0.54	12.35	48.06	13.89	121.85
	2	7.32	20.10	0.78	0.52	11.68	43.94	12.78	118.96
	3	7.63	18.90	0.76	0.51	11.67	39.86	14.05	115.63

注：OM：有机质，TN：全氮，TP：全磷，TK：全钾，AN：速效氮，AP：速效磷，AK：速效钾

Note：OM：organic matter，TN：total N，TP：total P，TK：total K，AN：available N，AP：available P，AK：available K

表 3　膏桐种子粗脂肪含量及含水量

Table 3　Seed crude fat content and moisture content of *Jatropha curcas*

样地 Site	粗脂肪(%) Crude fat content	含水量(%) Moisture content	粗脂肪 含水量 Crude fat content Moisture content
景洪 Jinghong	59.24±0.61a	13.20±0.19a	4.471±0.03a
元谋 Yuanmou	54.51±0.72b	11.13±0.15b	4.942±0.01b

字母相同表示不存在显著差异（$P > 0.05$），字母不同表示存在极显著差异（$P < 0.01$）

The same letter means no notable difference $P > 0.05$, and the different letters mean significant difference $P < 0.01$

2.2.3　种子粗脂肪含量与土壤因子关系　　以 pH 值、有机质（OM）、速效 N（AN）、速效 P（AP）、速效 K（AK）为自变量，对种子粗脂肪含量进行多元线性回归分析。从表 4 可以看出：土壤有机质是影响膏桐种子粗脂肪积累最重要的土壤因子，标准化系数最高为 1.621。速效 N 作为影响植物生长和营养成分积累最重要的 N 素对膏桐种子粗脂肪积累的作用远没有有机质重要，标准化系数为 0.652。全回归分析 5 个土壤因子中，有机质、速效 N、速效 P 对膏桐种子粗脂肪积累起促进作用，pH 值、速效 K 对膏桐种子粗脂肪积累起抑制作用。

表 4 膏桐种子粗脂肪含量与生境土壤因子回归分析

Table 4 Regression analysis between inhabitant soil factors and seed crude fat content of *Jatropha curcas*

		非标准化系数 Unstandaradized Coefficients		标准化系数 Standaradized Coefficients	t	Sig .
		系数 B	标准误 Std . Error			
全回归 Total regression	Constant	60.922	5.498		23.569	0.004
	pH	-0.539	2.578	-0.107	12.478	0.009
	OM	0.244	0.339	1.621	5.778	0.000
	AN	0.241	0.459	0.652	9.523	0.000
	AP	0.591	0.236	0.342	3.455	0.000
	AK	-0.217	0.687	-1.582	13.665	0.007
逐步回归 Stepwise regression	Constant	51.604	0.473		109.211	0.000
	OM	0.148	0.012	0.987	12.205	0.000

2.2.4 种子粗脂肪含量与气候因子关系 以年均蒸发量 (EV)、年均降雨量 (RV)、年均气温 (MT)、年均相对湿度 (RH)、年均日照时数 (SH), 对种子粗脂肪含量进行逐步多元线性回归, 结果表明 (表 5): 蒸发量是影响膏桐种子粗脂肪积累最重要的气候因子, 标准化系数最高为 - 1.465。其它气候因子对膏桐种子粗脂肪积累起促进作用, 标准化系数从大到小依次为降雨量、年均温、相对湿度和日照时数。

3 讨论

3.1 环境因子对膏桐种子生物学特性的影响

种子大小对植物影响的意义一直是一个争论的问题 (Westoby 等, 1992)。Baker (1972) 认为在幼苗建立阶段具有高度干旱环境条件下, 种子趋向于变大。而大种子比小种子具有更高的萌发比率, 幼苗生存时间与种子重量具有正向的关系 (Leishman and Westoby, 1994)。大种子物种具有较少种子休眠, 种子萌发后幼苗优势明显 (Rees, 1993)。膏桐原产美洲热带, 植株常见于生境较差地段, 对干旱和贫瘠土壤有很强耐受性, 种子较大且不具休眠期, 成熟脱水的种子萌发迅速, 这是膏桐种子在形态和生理方面表现出的遗传稳定性。

高温干旱贫瘠条件下植株对水分、营养的获得量减少, 水分胁迫引起 ABA (脱落酸) 增加, 最终导致种子大小、重量减少及成熟散布期延长 (Alexander and Wulff, 1985; Wardlaw and Dunstone, 1984; Sawhney and Naylor, 1982)。本研究结果表明环境因子显著地影响了两地膏桐种子的生物学特性, 表现出高温干旱贫瘠胁迫下, 元谋膏桐种子成熟散布期较景洪膏桐种子滞后, 且种子形态特征、鲜重也小于景洪膏桐种子。上述研究结果是膏桐种子对环境因子异质性表现出的饰变。

3.2 环境因子对膏桐种子粗脂肪积累的影响

一般认为, 土壤因子中 N 素对植物生长和营养成分的积累影响最大。但本研究结果表明: 土壤有机质对膏桐种子粗脂肪积累的影响最为显著, 其标准化系数超过了速效 N。实际上, 土壤有机质作为衡量土壤肥力的重要指标, 对土壤肥力的影响是全面的。较高土壤有机质含量有助于促进土壤微生物的活动 (Baldock and Nelson, 1999) 和营养元素的积累、利用 (Wolf and Snyder, 2003), 而且土壤有机质分解时释放出的生

表 5 膏桐种子粗脂肪含量与气候因子回归分析

Table 5 Regression analysis between climate factors and seed crude fat content of *Jatropha curcas*

		非标准化系数 Unstandaradized Coefficients		标准化系数 Standaradized Coefficients	t	Sig .
		系数 B	标准误 Std . Error			
全回归 Total regression	Constant	719.261	30.647		53.366	0.011
	EV	-13.157	3.269	-1.465	18.556	0.000
	RV	4.839	0.339	0.875	10.927	0.005
	MT	3.219	0.487	0.806	12.503	0.001
	RH	3.008	0.496	0.655	14.828	0.009
	SH	1.227	0.239	0.557	20.699	0.000

长促进物质如维生素、氨基酸、植物激素、赤霉素等，可以刺激植物生长 (Brady，2002)。膏桐种子属油质种子，粗脂肪含量较高，N 素对油质种子粗脂肪积累的作用远没有像蛋白质种子那么重要，充足太阳辐射对膏桐种子粗脂肪积累则更有意义。另一方面，全回归分析表明：速效 K 对膏桐种子粗脂肪积累起显著负效应。相关研究表明：土壤 N、P、K 三大营养元素中，较高的 N、P 含量有利于油质种子粗脂肪积累，而过高的 K 含量会抑制植物的糖类代谢，最终减少糖类向粗脂肪的转化 (刘琴等，2005)。

如上文所述，油质种子需要消耗大量光合作用产物才能形成种子或者说充足的太阳辐射更有助于种子粗脂肪的积累。元谋日照充足，但元谋膏桐种子粗脂肪含量较景洪膏桐种子低。实际上，植物对环境因子的响应是多方面的、复杂的，单因子对植物影响的简单叠加不能代表多因子对植物影响的共同作用，而且各个因子间还存在交互作用。对油质种子而言，充足太阳辐射条件下合成代谢旺盛，即使蒸腾作用强烈，但有足够的水分供给，仍可获得较高的粗脂肪。反之，干旱胁迫下植物光合作用减弱，从而削减了光合产物的积累 (杨帆等，2007)。其次，干旱胁迫导致植物 N 代谢加剧产生大量游离氨基酸，同时合成大量胁迫诱导蛋白来抵御干旱逆境。N 素代谢的加强必然减缓其它代谢活动，抑制糖类向粗脂肪的转化，最终降低了油质种子粗脂肪的合成。所以干旱胁迫是影响膏桐种子粗脂肪积累十分重要的限制因子，其抑制作用可能削减或掩盖了充足太阳辐射对膏桐种子粗脂肪积累的促进作用。

3.3 环境因子对膏桐种子粗脂肪含量与含水量配比的影响

种子成熟脱水能使种子酶系处于钝化，有利于种子活力的保持和寿命的延长。同时，对油质种子而言，脂类作为种子的能量贮存形式，与蛋白质和碳水化合物相比还原性更强，产能潜力更高。目前，对油质种子粗脂肪含量、含水量配比与环境因子关系的研究还较少。

两地膏桐种子粗脂肪含量与含水量比率存在极显著差异 ($P < 0.01$)。根据研究结果我们认为：膏桐种子粗脂肪含量与含水量配比差异是植物对不同环境产生的饰变。对比两地环境因子可以看出元谋环境更为恶劣。在这样的恶劣条件下植株更倾向于把营养物质和能量分配到繁殖器官的种子，较高粗脂肪含量与含水量比率更有助于种子营养物质和能量的高效贮存，抵抗较为恶劣的自然环境，提高种子活力和延长种子寿命；景洪高温高湿，土壤肥沃，种子伴随适宜的条件就可迅速萌发，植株可以更为灵活的把营养物质和能量分配到其它器官，用于其它构件和生物量的积累，使植物更好的生长。膏桐种子较高的粗脂肪含量可能是植物对干旱贫瘠环境的一种适应机制。

3.4 膏桐种植建议

根据本文研究结果，综合考虑膏桐生物学特性、土地利用、水肥条件、生态保护等因素，在日照充足地区种植膏桐能够增加植被覆盖度、防风固土、涵养水源、防止水土流失，改善生态环境。同时对膏桐施以有机肥料改善土壤有机质，并做好种子成熟期的引水灌溉则能显著增加种子鲜重，提高种子粗脂肪含量。

〔参 考 文 献〕

金振洲，欧晓昆，2000．干热河谷植被［M］．昆明：云南大学出版社；云南科技出版社，84—85

Alexander H，Wulff R，1985．Experimental ecological genetics in plantago．X．The effects of maternal temperature on seed and seedling characters in *P*. *lanceolata*［J］．*Journal of Evolution*，73（1）：271—282

Baker H，1972．Seed weight in relation to environmental conditions in California［J］．*Ecology*，53：997—1010

Baldock J，Nelson，1999．Soil Organic Matte［A］．Sumner ME ed．Handbook of Soil Science［M］．Boca Raton（USA）：CRC Press，187—189

Berchmans HJ，Hirata S，2008．Biodiesel production from crude *Jatropha curcas* seed oil with a high content of free fatty acids［J］．*Bioresource Technology*，99：1716—1721

Bradshaw AD，Chadwick MJ，1980．The Restoration of Land［M］．Oxford：Blackwell Scientific Publications，351—356

Brady NC，Weil RR，2002．Chapter 12：Soils organic matter．The Nature and Properties of Soils（13th Edition），Upper Saddle River［M］．NJ：Prentice-Hall，Inc，124—126

Cao B（曹兵），Gao HD（高捍东），2002．Research on the biological characters of seed of *Simmondisa chinensis*［J］．*Seed*（种子），5：41—42

Cao M，Zou XM，Warren M *et al.*，2006．Tropical forests of Xishuangbanna，China［J］．*Biotropica*，38：306—309

Feng J（冯峻），Shi B（施彬），Zeng DX（曾德贤）*et al.*，2008．

Analysis on fruit traits of superior individuals of *Jatropha curcas* in Yunnan Province [J]. *Journal of Southwest Forestry University* (西南林学院学报), 28 (2): 25—29

Garnayak DK, Pradhan RC, Naik SN *et al.*, 2008. Moisture-dependent physical properties of jatropha seed (*Jatropha curcas* L.) [J]. *Industrial Crops And Products*, 1: 123—129

Heller J, 1996. Promoting the Conservation and Use of Underutilized and Neglected Crops I, Physic Nut (*Jatropha curcas* L.) [M]. Rome: International Plant Genetic Resources Institute

Hone D, Benton M, 2005. The evolution of large size: How dose Cope's Rule work? [J]. *Trends in Ecology and Evolution*, 20: 4—6

Ke WS (柯文山), Zhong ZC (钟章成), Xi HA (席红安) *et al.*, 2000. The variation of seed sizes of *Gordonia acuminata* geographic populations and its effect on seed germination and seedling [J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 20 (4): 697—701

Kumar A, Sharma S, 2005. Potential of *Jatropha* and cultural practices to maximize its yield [M]. New Delhi: ICPQR, 34—38

Kumar GP, Yadav SK, Thawale PR *et al.*, 2008. Growth of *Jatropha curcas* on heavy metal contaminated soil amended with industrial wastes and Azotobacter-A greenhouse study [J]. *Bioresource Technology*, 99 (6): 2078—2082

Leishman M, Westoby M, 1994. Hypotheses on seed size: tests using the semi-arid flora of western New South Wales, Australia [J]. *American Naturalist*, 143: 890—906

Liu Q (刘琴), Sun H (孙辉), He DW (何道文), 2005. Plant responses to the high temperature and moisture stress [J]. *Journal of China West Normal University* (Natural Science) (西华师范大学学报 (自然科学版)), 26 (4): 364—368

Luo T, Peng SM, Deng WY *et al.*, 2006. Characterization of a new stearoyl-acyl carrier protein desaturase gene from *Jatropha curcas* [J]. *Biotechnology Letters*, 28: 657—662

Liu S (刘朔), Yu B (余波), He CJ (何朝均) *et al.*, 2009. Fertilization effect on fruiting of young *Jatropha curcas* plantations [J]. *Journal of Southwest Forestry University* (西南林学院学报), 29 (2): 11—14

Luo JX (罗建勋), Gu YJ (辜云杰), Tang P (唐平) *et al.*, 2009. Research on genetic variation of seed traits of different *Jatropha curcas* populations in West Panzhihua Area [J]. *Journal of Southwest Forestry University* (西南林学院学报), 29 (3): 1—4

Luo Y (罗圆), Ou XK (欧晓昆), Xu JH (许继宏), 2008. Biological research advance of *Jatropha curcas* [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin* (长江流域资源与环境), 17 (Supp.1): 66—71

Maxwell B, 1985. Energy potential of leafy spurge [J]. *Economic Botany*, 12 (2): 150—156

Ranade Shirish A, Srivastava Anuj P, Rana Tikam S *et al.*, 2007. Easy assessment of diversity in *Jatropha curcas* L. plants using two single-primer amplification reaction (SPAR) methods [J]. *Biomass and Bioenergy*, 32 (6): 533—540

Raquel GR, Keith RP, Malcolm ER *et al.*, 1997. Effect of seed size and testa colour on saponin content of *Spanish lentil* seed [J]. *Food Chemistry*, 58 (3): 223—226

Rees M, 1993. Trade-offs among dispersal strategies in the Britishflora [J]. *Nature*, 366: 150—152

Sawhney R, Naylor M, 1982. Dormancy studies in seed of Avena fatua. 13. Influence of drought stress during seed development on duration of seed dormancy [J]. *Canadian Journal of Botany*, 60 (6): 1016—1020

Silvemown J, 1981. Seed size, life span and germination date as coadapted femurs of plant, life history [J]. *Nature*, 18: 860—864

Sujatha M, Prabakaran AJ, 2003. New ornamental *Jatropha* hybrids through interspecific hybridization [J]. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 50 (1): 75—82

Sunil S, Varaprasada N, Sivaraja T *et al.*, 2008. Assessing *Jatropha curcas* L. germplasm in-situ—A case study [J]. *Biomass and Bioenergy*, 1: 58—62

Timir B, Priyanka M, Mukul M, 2007. Somatic embryogenesis in *Jatropha curcas* Linn., an important biofuel plant [J]. *Plant Biotechnology*, 1: 135—140

Wardlaw I, Dunstone K, 1984. Effects of temperature on seed development in jojoba (*Simmondsia chinensis* Schneider). I. Dry matter changes [J]. *Australian Journal of Research*, 35: 685—691

Westoby M, Jurado E, Leishman M, 1992. Comparative evolutionary ecology of seed sizes [J]. *Trends in Ecology and Evolution*, 7 (11): 368—372

Wolf B, Snyder GH, 2003. Sustainable Soils: The Place of Organic Matter in Sustaining Soils and Their Productivity [M]. Food Products Press of The Haworth Press, 114—116

Wu T (吴涛), Chen SY (陈少瑜), Peng MJ (彭明俊) *et al.*, 2008. Changes of physiological indices of *Jatropha curcas* from different provenances under drought stress [J]. *Journal of Northwest Forestry University* (西北林学院学报), 23 (2): 7—11

Yang F (杨帆), Miao LF (苗灵凤), Xu X (胥晓) *et al.*, 2007. Progress in research of plant responses to drought stress [J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology* (应用与环境生物学报), 13 (4): 586—591

Yuan LC (袁理春), Zhao Q (赵琪), Kang PD (康平德) *et al.*, 2007. Investigation of geographical distribution and evaluation of *Jatropha curcas* in Yunnan Province [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences* (西南农业学报), 20 (6): 1283—1286